

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 軌道検測車データから 浮きまくらぎを検出する

鉄道車両が走行すると、軌道にはさまざまな力が作用します。砕石を用いたバラスト軌道では、この力によって、少しずつ軌道が変形していきます。その過程で、軌道の走行安全性を損ね、軌道を構成する部材への悪影響を及ぼす浮きまくらぎが発生することがあります。浮きまくらぎは実際に現地に足を運ばないと確認できないため、これまでその検出に向けさまざまな取り組みがなされてきました。ここでは、鉄道総研で開発し、実用化に至った、軌道検測車データから浮きまくらぎを検出する手法について紹介します。



楠田 将之  
Masanobu Kusuda  
前 軌道技術研究部  
軌道構造研究室  
上席研究員



山岡 大樹  
Daiki Yamaoka  
軌道技術研究部  
軌道構造研究室  
研究員

## 浮きまくらぎとは

バラスト軌道(図1)は、レールとまくらぎおよび両者を固定するレール締結装置で構成される軌きょうを、路盤とよばれる土台の上に築いた、無数の砕石で構成されるバラスト道床で保持するもので、世界中で広く用いられている軌道の構造です。バラスト軌道

は、自在に移動可能な無数の砕石で構成されているため、鉄道車両がその上を通過すれば、その車両荷重により砕石は移動します。この鉄道車両の通過は1日の間に何回も繰り返されるため、日々の鉄道車両の通過が何か月、何年と続けば、砕石が乱され、軌道は次第に沈下していきます。一般に、軌道に

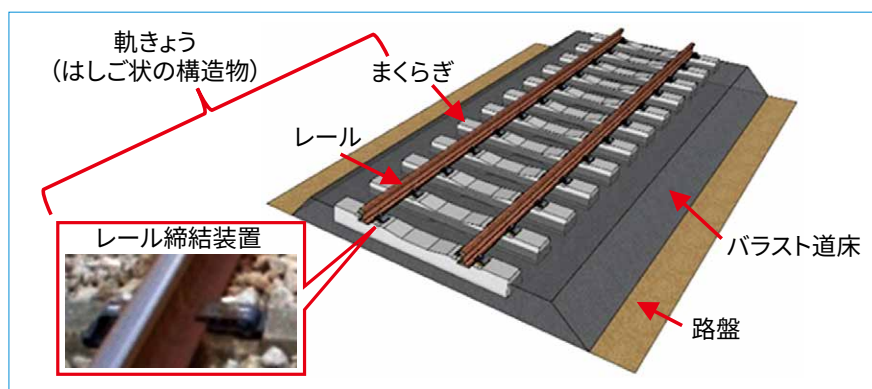


図1 バラスト軌道の構成

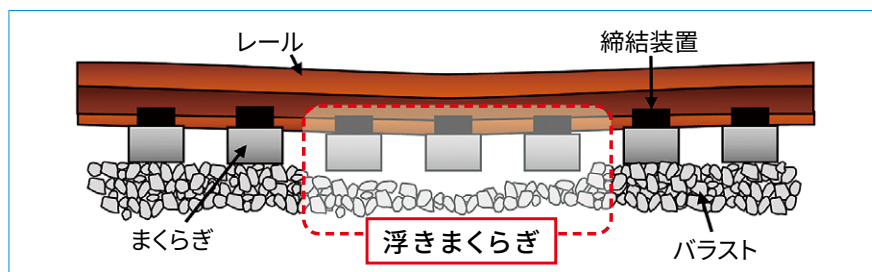


図2 浮きまくらぎの状態



図3 軌きょうの座屈現象



図4 軌道検測車

生じる沈下量は、軌道の構造の違いや、構成材料の物理的特性のばらつきなど、さまざまな原因により場所ごとに異なります。軌道の沈下量がとくに大きくなる箇所では図2に示すように、まくらぎがバラストから離れてレールにぶら下がった「浮きまくらぎ」という状態が生じます<sup>1)</sup>。

### 想定される悪影響

浮きまくらぎが発生した箇所では、その上を鉄道車両が通過するたびに、バラストにまくらぎがたたきつけられて碎石が破碎したり、バラスト道床の表面に泥土が噴き出したりするため、軌道状態が急速に悪化していきます。

また、バラスト道床は、軌きょうとバラスト道床の間に発生する摩擦力により、軌きょうを左右方向に大きく移動させないようにする役割を担っています。しかし、浮きまくらぎ発生箇所では、まくらぎの下面に

おいてバラスト道床との摩擦力が喪失するため、バラスト道床がもつ、軌きょうの左右移動の抑止効果が低減してしまいます。とくに夏季の高温時になると、レールが膨張することで軌きょうが左右方向に張り出す座屈(図3)の発生リスクが高まりますが、軌きょうの左右移動の抑止効果が弱まる、バラスト道床の浮きまくらぎ発生箇所では、必然的に座屈に対する安全余裕度が低下します。このような軌きょうの座屈が発生した箇所では、車両は安全な走行が困難になるので、浮きまくらぎは軌道の走行安全性を損ねる一因になるともいえます。

### 浮きまくらぎ検出手法の開発

軌道を良好な状態に保つためには、このような浮きまくらぎ発生箇所を的確にとらえ、適切に処置していくことが必要です。しかし、浮きまくらぎは

現地に直接足を運んで調査する以外に把握する手段がないため、これまで保線の現場では苦慮しており、浮きまくらぎを検出する手法の開発が望まれていました。そこで鉄道総研では、軌道検測車(図4)により測定された線路の上下方向のゆがみ(高低変位(☞参照))のデータを活用して、浮きまくらぎを検出する手法を開発しました<sup>2)</sup>。ここからは、この浮きまくらぎ検出手法について具体的に紹介します。

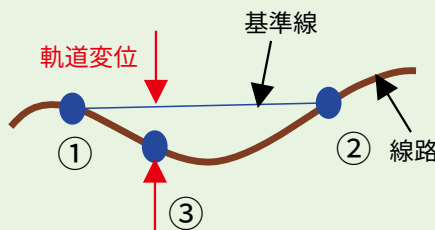
### 検出のメカニズム

今回新たに開発した浮きまくらぎの検出手法は、バラスト道床上面の車両走行方向の凹凸形状(以下、「道床面形状」とよびます)を把握し、道床面形状をもとに計算によって軌きょうの形状を推定し、両形状を比較して一致していない箇所を浮きまくらぎ発生箇所と判定する方法です。

まず、道床面形状については、軌道検測車で測定された高低変位のデータを活用して推定することとしました。鉄道車両が軌道上を走行している間、浮きまくらぎが発生している箇所では、車両荷重によりまくらぎがバラスト道床まで押し下げられます。すなわち、この間はまくらぎがバラスト道床面と接触している状態となるため、浮きまくらぎの有無によらず、車両走行

#### ☞ 高低変位

線路のゆがみ(軌道変位)は、右図のように外側の2点(①と②)を結んだ線を基準として、その間の点(③)と基準線との離れを測定することにより把握しています。とくに高低変位は、軌道において上下方向のゆがみを表すものになります。



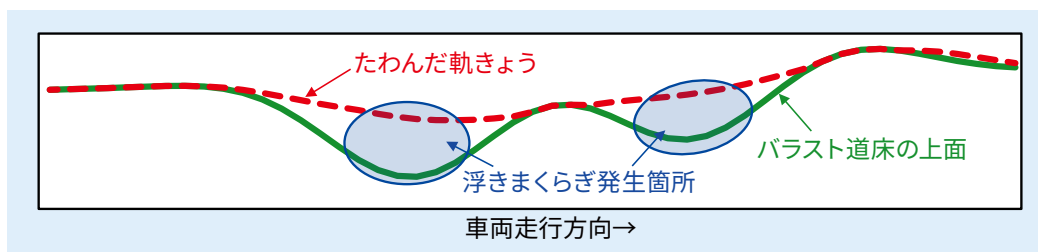


図6 浮きまくらぎ検出のメカニズム

時の軌きょうの形状と道床面形状はおおむね一致することになります(図5)。よって軌道検測車で測定された高低変位データは、本来はレールのゆがみを表すものですが、この考え方にもとづけば、道床面の凹凸状態を表すものとしてもとらえることができます。これにより、軌道検測車の測定データから道床面形状を把握できます。

次に、軌きょうの形状を推定します。これは、物体自身がつもつ重さ(自重)により、物体がたわむという原理を根幹としています。たとえば、互いに十分離れた2つの台座を支点として、その間に1枚の細長い木製の板を設置することを考えます。当然のことながらこの木製の板は、2つの台座の間で完全にまっすぐな状態とはならず、板中央部付近においてたわんだ状態になることが想像できるかと思います。このたわみは、板の自重により板自身は下方向に引っ張られるために生じるものです。これをバラスト軌道にあてはめて考えてみますと、木製の板が軌きょう、台座がバラスト道床に置き換わることになります。すなわち、不規則な凹凸を有するバラスト道床の上に設置された軌きょうが、その自重によりバラスト道床上でたわむという状態に変換できます。この道床面形状がわかれば、まくらぎと接触しているバラスト道床部が軌きょうの自重を支えるという力のつり合い関係と、軌きょうの曲がりやすさなどの条件から、軌きょうのたわみ形状はただひとつに定

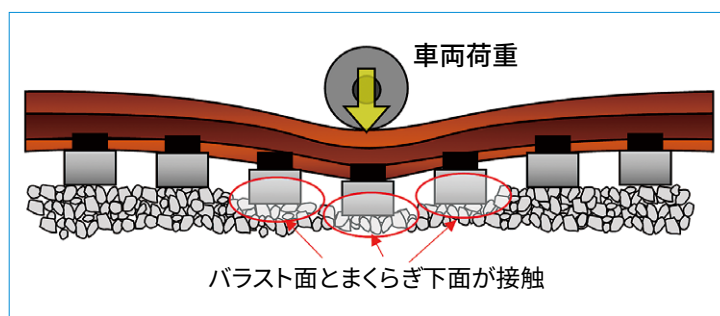


図5 浮きまくらぎ箇所の車両走行時の状態

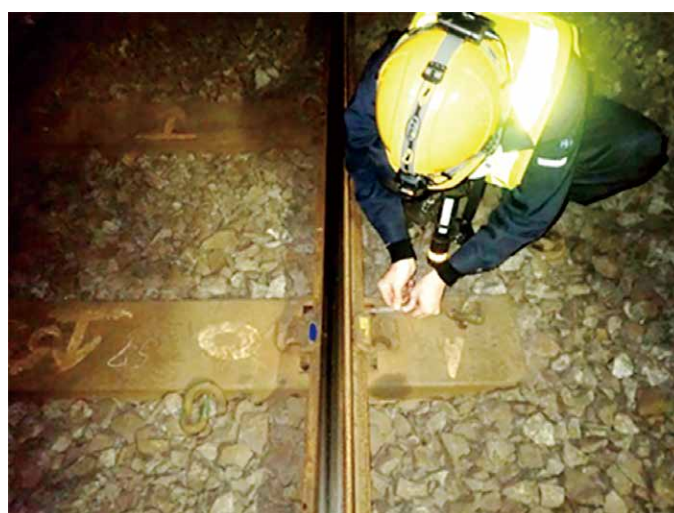


図7 浮き量測定の様子

まります。すると、自重によりたわんだ軌きょうとバラスト道床が接触していない箇所、つまり軌きょうとバラスト道床の間にすき間が生じる箇所が現れますので、ここを浮きまくらぎ発生箇所とします(図6)。これが浮きまくらぎ検出のメカニズムになります。

### 浮きまくらぎの検出

ここでは実際に浮きまくらぎ検出手法を用いて、軌道検測車で得られた高低変位データから推定した道床面形状

と、その道床面形状をもとに求めた、軌きょうが自重によりたわんだときの形状から、浮きまくらぎを検出した結果について示します。なお、浮きまくらぎの発生状況を定量的に把握するために、まくらぎがバラスト道床からどの程度浮いて離れているかを表す指標として「浮き量」を設定しました。検出手法の妥当性を確認するため、実際に浮きまくらぎが発生している現地に赴いて浮き量を測定し、推定値と実測値がどの程度合致しているかを検証し

ました。なお、浮き量の実測値は、レール締結装置を取り外してまくらぎをバラスト道床上に落とし、まくらぎとバラスト道床が接触したときに、レール底面とまくらぎ上面に生じるすき間を測定することで得ました(図7)。

図8に、ロングレール区間における浮き量の推定値と実測値の結果を示します。青のプロットが推定値、赤のプロットが実測値を表していますが、推定値と実測値がおおむね合致するという良好な結果が得られました。このことから、今回開発した浮きまくらぎ検出手法の妥当性を確認することができました。

### 現場への活用

ここまで、鉄道総研で開発した浮きまくらぎ検出手法について、本手法が開発された背景やそのメカニズムについて紹介してきました。保線の現場ではすでに、この浮きまくらぎ検出手法が導入され、軌道保守管理データベースLABOCS(☞参照) Ver.4.2に浮きまくらぎ検出コマンドが搭載されています。図9に、LABOCS上で浮き量を出した一例(下段の青プロット)を示します。この新機能により、軌道のどの位置で、どの程度の浮きまくらぎが発生しているかを、簡単に把握することができるようになり、浮きまくらぎへの対処が行いやすくなります。

### 期待される効果

軌道検測車の高低変位データから、浮きまくらぎを検出できるようになることで、今後次のような課題に対する効果が期待できます。

#### ☞ 軌道保守管理データベースシステム LABOCS

軌道状態の確認をパソコンで行うことができるツールで、JR各社などで軌道の管理に欠かせないものとなっています。車両走行方向の軌道変位など、各種の測定データや、軌道の環境データなども描画することができます。

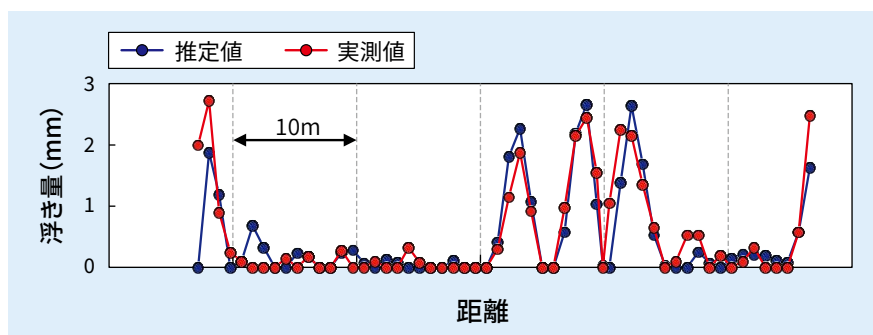


図8 浮き量の推定値と実測値の比較

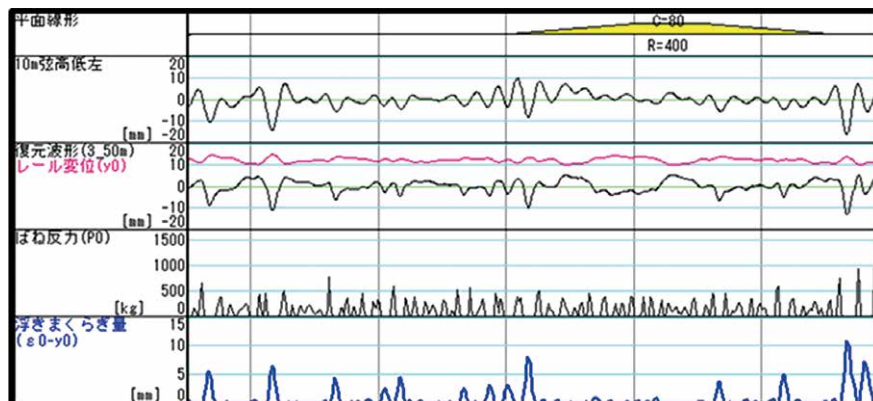


図9 LABOCSの出力画面

### (1) 軌道に生じる不具合の防止

把握した浮きまくらぎ箇所の適切な処置を行うことにより、軌道の急速な沈下、座屈の発生リスクを大きく低減することが可能となり、走行安全性の向上につながります。

### (2) レール破断リスク箇所の抽出

浮き量は、鉄道車両走行にともなう軌道の上下方向の変位量ともいえます。この変位量が大きいと、車両通過時にレールが大きく曲げられることになるため、レールの破断リスクが高まります。浮きまくらぎ検出手法を活用することで、レールが破断するリスクが高いと考えられる箇所の抽出が可能になります。

### 今後の展望

今回紹介しました、浮きまくらぎ検出手法は、現場の問題解決に対する効果が大きい期待されます。しかし一方で、レール継目部など、レールの不連続部付近において精度が低下するといった課題も有しています。今後このような弱点を克服することで、この浮きまくらぎ検出手法は、保線の現場において、より活躍の場を広げられるとも考えられます。

浮きまくらぎに関する知見の蓄積はまだ不十分ですので、この浮きまくらぎ検出手法が、未知の知見を獲得するきっかけとなれば幸いです。[RRR]

### 文献

- 1) 村本勝己, 中村貴久, 野村清順: 浮きまくらぎを自動で補正する, RRR, Vol.71, No.12, pp.8-11, 2014
- 2) 楠田将之: 浮きまくらぎ検出手法の開発, 日本鉄道施設協会誌, Vol.57, No.5, pp.38-41, 2019